

DOI: 10.53003/redequim.v7i1.3743

SEÇÃO Debates em Ensino e Aprendizagem da Química

ARTIGO ORIGINAL

**REDEQUIM**
Revista Debates em Ensino de Química
ISSN 2447-6099

UMA ESTRATÉGIA PARA O ENSINO DE MODELOS ATÔMICOS BASEADA NOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

A STRATEGY FOR TEACHING ATOMIC MODELS BASED ON THREE PEDAGOGICAL MOMENTS

Giovanni Miraveti Carriello  

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

✉ giovannimiraveti@gmail.com**Guilherme Manassés Pegoraro**  

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

✉ guilherme.ms.pegoraro@gmail.com**Jonata Rodrigues Dias Batista**  

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

✉ rodriguesb102@gmail.com**Jorge Fernandes Filho**  

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

✉ jorgeferfilho@gmail.com**João Batista dos Santos Junior**  

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

✉ joabats@ufscar.br

RESUMO: Este estudo apresenta o uso de uma estratégia para o ensino de modelos atômicos, baseando-se na teoria dos três momentos pedagógicos, com adoção de métodos indutivos e investigativos. No total de cinco aulas, os modelos atômicos de Dalton, Rutherford e Rutherford-Bohr foram ensinados. Três questionários foram aplicados durante diferentes momentos: antes das atividades, após as cinco aulas e seis meses depois. Os resultados indicam que os estudantes tinham concepções equivocadas sobre “matéria” e “átomos” inicialmente, sendo também incapazes de estabelecer conexões entre esses termos e o mundo macroscópico. Após todas as atividades terem sido realizadas usando esse método, os questionários mostraram que os estudantes passaram a compreender melhor os conceitos de “matéria” e “átomos”. Baseando-se nas ideias de Ausubel, uma parte considerável dos estudantes demonstrou aprendizagem significativa, especialmente no que se refere a formar uma conexão entre os mundos microscópico e macroscópico. Apesar das limitações encontradas nessa estratégia, consideramos que a frequência dos estudantes nas cinco aulas é fundamental para a evolução das ideias e os docentes precisam ter acesso a uma estrutura básica, caso queiram reproduzir a experiência, que os permita realizar atividades experimentais e simulações, como laboratórios didáticos, computadores e acesso à internet.

PALAVRAS-CHAVE: Modelos atômicos. Três momentos pedagógicos. Ensino de Química.

ABSTRACT: This study reports the use of a strategy for atomic model teaching, based in the theory of three pedagogical moments, adopting investigative and inductive methods. In five classes, the atomic models of Dalton, Rutherford and Rutherford-Bohr were taught. Three questionnaires were applied during different moments: before the activities, after the classes, and after six months. The results indicate that initially students had misconceptions on understanding “matter” and “atoms”, while also being unable of establishing connections between those terms and the macroscopic world. After all activities, the questionnaires showed that students comprehended the concepts of “matter” and “atoms” better. Based

on Ausubel's ideas, a considerable part of the students showed meaningful learning, especially regarding the connection between the microscopic and macroscopic world. Although, regarding the limitations found within this strategy, the presence of the students through classes is fundamental and teachers need to have access to a basic structure that allows them to carry out experimental and simulation activities, such as laboratories, computers and access to internet.

KEY WORDS: Atomic models. Three pedagogical moments. Chemistry teaching.

Introdução

Melo e Neto (2013) apontam que um assunto amplamente discutido em salas de aula é o de modelos atômicos, e indicam também a superficialidade pela qual são feitas as propostas de ensino, traduzindo o sentimento de falta de importância que se dá a esse tópico da disciplina de química. Apesar de, em níveis mais avançados do conhecimento desta área a evolução dos modelos atômicos não ter grande importância, ela é relevante nas etapas iniciais do contato do estudante com a química. Por isso, ela é constante nos currículos do ensino médio. Apesar disto, a forma como é apresentada fundamenta-se em contextos históricos desconexos em que, ao final da aula, o aluno questiona se o último modelo apresentado é o certo, considerando a evolução dos modelos como principal motivo do estudo deste conteúdo. A importância de se mostrar a evolução dos modelos é construir, junto ao aluno, a noção de que diversas áreas de pesquisa contribuíram para mostrar as deficiências dos modelos vigentes, propondo soluções viáveis para explicar os fenômenos e, como consequência, propondo novos modelos. Nessa linha, os autores sintetizam com precisão o que acontece com a maior parte dos estudantes após o estudo dos M.A.:

Nossa hipótese é de que, como os modelos atômicos são inseridos em uma unidade estanque e não conectada para estabelecer modelos para a matéria e, portanto, para as substâncias, os alunos não conseguiram utilizar os modelos criados para os átomos para fornecer explicações atomistas para um fenômeno cotidiano, ou, ainda, a forma como os conceitos foram abordados não lhes permitiu entender como se constrói ciência e que esta está em constante modificação. (Melo & Neto, 2013, p. 116).

Sobre os modelos atômicos, Silva (2016) diz que muitas vezes os alunos se apresentam como meros gravadores do conteúdo científico. Dessa forma, o seu papel na aprendizagem reduz-se à ação de decorar, o que não favorece o verdadeiro aprendizado. Um dos erros mais comuns no ensino de modelos atômicos é a apresentação desses como algo imutável, desconsiderando o caráter temporário e sujeito a críticas que está implícito em todo modelo científico. Esse ponto é visto também por Melzer e Aires (2015), que dizem que nos livros didáticos os modelos atômicos são colocados como algo a parte da construção do conhecimento, como os modelos em si fossem uma espécie de produto final.

Melzer e Aires (2015) trazem uma análise que tem como intuito mostrar a história do desenvolvimento da teoria atômica partindo de Dalton, passando pelos modelos atômicos de Thomson, de Jeans, de Nagaoka, de Rayleigh, de Schott, de Rutherford e de Nicholson para então chegar ao modelo proposto por Niels Bohr, evidenciando que foi uma construção não linear e gradual. Além disso, os autores problematizam que o ensino utilizando dados históricos incorretos pode causar problemas na compreensão do conteúdo. A abordagem proposta pelos autores é a da História e Filosofia da Ciência no Ensino (HFC), a qual se baseia na ideia de que a história da ciência auxilia na compreensão de diversos aspectos da construção do conhecimento científico, porém, mesmo assim, falta material de apoio para essa abordagem, em especial em livros didáticos disponibilizados nas escolas públicas (Melzer & Aires, 2015).

De acordo com Melzer, Castro, Aires e Guimarães (2009), os livros didáticos são muito utilizados por professores de química. A ausência de materiais de apoio capazes de suprir as necessidades

das abordagens contendo HFC é evidenciada pelos autores, os quais, avaliando a apresentação do conteúdo de modelos atômicos em livros didáticos, notaram que a historicidade não é amplamente utilizada, além de detectarem a existência de obstáculos epistemológicos. Segundo eles, esses fatores podem levar o aluno a uma compreensão incompleta dos M.A., que por si só poderia acarretar em problemas ao se lecionar conteúdos posteriores, já que os M.A. são base para o entendimento da química.

Dessa forma, buscamos aqui desenvolver uma estratégia de ensino para os M.A. que favorecesse ao aluno o desenvolvimento de um modelo explicativo para a compreensão da estrutura da matéria e que, concomitantemente, lhe permitisse compreender como evoluem os modelos científicos propostos pela Ciência. Para tal, propomos uma estratégia de ensino para os M.A. baseada nos três momentos pedagógicos: a problematização inicial, a organização e aplicação do conhecimento (Delizoicov; Angotti & Pernambuco, 2002).

Os Três Momentos Pedagógicos

A abordagem conhecida como Três Momentos Pedagógicos não é uma novidade, tendo sido apresentada no final da década de 1990 por Delizoicov e Angotti. Essa abordagem baseia-se na ideia de que o ensino pode ser organizado em três etapas diferentes. Essa estratégia requer um novo pensamento didático do professor. Dessa forma, o docente não seria o detentor do conhecimento, porque reconhece e se vale dos conhecimentos prévios dos alunos para o desenvolvimento do raciocínio durante a aula. O quadro 1 apresenta a sistematização proposta por Muenchen e Delizoicov (2014). Nela, é possível observar que a estratégia consiste em três etapas nas quais o professor exerce papéis diferentes dentro da dinâmica do ensino. Vale ressaltar que essa sistematização não apresenta inovações em relação à proposta inicial, sendo que a utilizamos para chamar a atenção para a contemporaneidade das ideias de Delizoicov e Angotti que, mesmo após trinta anos, continuam inspirando trabalhos atuais na área.

Quadro 1: Os três momentos pedagógicos de Muenchen e Delizoicov (2014).

| Momento | Conceito |
|-------------------------|--|
| Problematização Inicial | Apresentam-se questões ou situações reais que os alunos conhecem e presenciam e que estão envolvidas nos temas. Nesse momento, os alunos são desafiados a expor o que pensam sobre as situações, a fim de que o professor possa conhecer o que eles pensam. A finalidade desse tópico é propiciar um distanciamento crítico do aluno ao se defrontar com as interpretações das situações propostas para discussão, e fazer com que ele sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém. É nessa parte que os alunos observam as ideias dos seus colegas de classe e que, mediante às trocas entre eles, novas hipóteses surgem para a resolução da problematização inicial. O professor pode mediar a discussão entre os alunos de forma que as ideias propostas por eles não possam ser descartadas, mas aquelas que a princípio são absurdas, no que tange a solução do problema proposto, sejam lapidadas com as próprias ideias oriundas das discussões em sala de aula. É importante que as ideias mais próximas da resposta correta sejam confrontadas, com o objetivo de mostrar pontos falhos na teoria e pontos fortes que podem ser mantidos para a resposta final. |

| | |
|-----------------------------|---|
| Organização do Conhecimento | Momento em que, sob a orientação do professor, os conhecimentos teóricos necessários para a compreensão dos temas e da problematização inicial são estudados. Nesse momento os conteúdos são ensinados, seja de forma tradicional ou não. O educador poderá transmitir a informação da forma que for mais conveniente dentro de suas limitações. O mais importante é que o aluno poderá ter o conhecimento necessário para a resolução de questões acerca do tema estudado. Não necessariamente ele será capaz de responder a problematização inicial, mas ele será capaz de compreender a ciência por trás da questão apresentada e formular respostas que mais condizem com a resposta real da questão. Nesse tópico, ele poderá perceber que lhe faltam outras informações para o completo entendimento e onde buscá-las. |
| Aplicação do Conhecimento | Momento que se destina a abordar sistematicamente o conhecimento incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram seu estudo quanto outras que, embora não estejam diretamente ligadas ao momento inicial, possam ser compreendidas pelo mesmo conhecimento. Neste momento, a questão inicial volta a ser discutida. O aluno será capaz de formular uma resposta condizente ao problema inicial devido ao que ele aprendeu no momento anterior. O educador poderá propor novos problemas e inferir variáveis que mudam ou não a forma de pensar acerca do problema. Ele pode verificar se o que ele transmitiu aos alunos foi suficiente para a compreensão sobre o assunto, ou se a melhor alternativa seria de voltar ao momento anterior para focar em uma parte que não foi bem compreendida. |

Fonte: Adaptado de Muenchen & Delizoicov (2014).

As atividades de resolução de problemas são ferramentas comumente utilizadas no processo de ensino e aprendizagem. Dentro da perspectiva dos três momentos pedagógicos, o conhecimento científico é abordado como uma ferramenta capaz de subsidiar o aprendiz na resolução de um problema ou na compreensão mais complexa de fenômenos naturais com os quais convive, ou seja, a criação de um vínculo com as situações que os alunos conhecem e presenciam (Delizoicov; Angotti & Pernambuco, 2002).

As concepções dos alunos são um fator que pode ser levado em consideração quando se problematiza um conteúdo para aproximá-lo da realidade vivida pelo estudante, por tratar-se de questões das quais o aluno já tem noção, oriundas de aprendizagens anteriores. Porém, recomenda-se que o educador escolha lançar dúvidas sobre o assunto e questionar, ao invés de fornecer explicações logo de início. Desta forma, o aluno é incentivado a confrontar ou complementar seu conhecimento preexistente. Nos saberes pré-existentes dos estudantes, empregam-se termos para expressar explicações a respeito dos problemas apresentados pelo professor, tais como força, luz, energia, átomos, porém às vezes com um significado distinto daquele conceituado pelas teorias físicas (Deleizoicov & Angotti, 1990).

Conforme conclui Muenchen e Delizoicov (2014), a apresentação dos assuntos, dentro da dinâmica dos Três Momentos Pedagógicos, pode ser feita de maneira não decorativa, mas colocando problemas a serem resolvidos. Esses são elaborados baseando-se na experiência de vida dos alunos, permitindo que tais resoluções ocorram por meio dos conhecimentos que os alunos ainda não possuem, dessa forma permitindo que esses conhecimentos sejam integrados posteriormente à vida e ao pensamento do educando. Pode-se evitar, conforme diz Muenchen e Delizoicov (2014), que o primeiro momento pedagógico seja utilizado como pretexto para

inserção de conteúdos tradicionalmente abordados no segundo momento, já que isso pode ocorrer quando os três momentos pedagógicos são abordados de forma estática e mecânica.

O Ensino por Investigação

Apresentamos aqui algumas abordagens sobre o ensino por investigação. A ideia da aplicação do ensino por investigação se torna interessante quando, dentre outros fatores, o distanciamento dos alunos das disciplinas de cunho científico (biologia, química, física e matemática) ocorre devido à complexidade dos nomes e termos, que não fazem parte do universo em que estes estudantes estão inseridos (Brito; Brito & Sales, 2018). Scarpa, Sasseron e Silva (2017) colocam em seu trabalho sobre o Ensino por Investigação que as atividades propostas pelos educadores que possuem uma abordagem investigativa criam um ambiente propício para a prática da argumentação científica. Coloca-se também que a atividade estimula o aluno a coletar dados, organizá-los e interpretá-los, induzindo-o a produzir argumentos científicos ao relacionar variáveis e construir respostas baseadas nas informações que ele mesmo coletou sobre o assunto.

Wartha e Lemos (2016) dizem que a origem e as definições da abordagem investigativa são diversas e com diferenças, mas que todas possibilitam que o aluno participe ativamente na atividade, além da possibilidade de realizar discussões com os estudantes. Por meio dessa articulação entre as discussões e a prática, nossa proposta didática seguiu este tipo de abordagem, já que ensino por investigação visa engajar o aluno na tarefa de resolver problemas propostos pelo docente. A lógica dessa proposta de ensino exige que o aluno elabore hipóteses, observe os fenômenos e controle variáveis, além de discutir e socializar-se para solucionar o problema apresentado, assim podendo tornar o ensino mais interessante para o aluno (Brito & Fireman, 2018).

Essa abordagem investigativa possibilita ao aluno aprender por meio de suas próprias ações. Tendo em vista esse aspecto, um elemento importante para essa estratégia é o chamado problema, que pode ser interpretado, consoante a Krulik e Reys (1980), como uma situação que pode ou não apresentar aspectos quantitativos, sendo que demanda uma solução que não possui meios claros de ser obtida. Dessa forma, o aluno será um sujeito ativo na construção de seu conhecimento.

Um bom problema baseado em um cenário de investigação, segundo Ferreira, Hartwig e Oliveira (2010), depende do conhecimento prévio e experiências dos estudantes para que eles sejam capazes de solucioná-lo. Só desta forma os alunos são mobilizados. Conforme Zâmpero e Laburú (2011), o ensino investigativo atualmente é utilizado com a finalidade de desenvolver habilidades cognitivas como elaboração de hipóteses, análise de dados e desenvolvimento da capacidade de argumentação.

A prática do ensino investigativo não depende apenas de um roteiro experimental, de acordo com Ferreira, Hartwig e Oliveira (2010), pois, dessa maneira, evita-se que os alunos realizem a atividade de forma mecanizada e decorem os processos envolvidos, não atribuindo assim significados aos dados obtidos e necessitando de reflexão para solucionar o problema. O progresso dos alunos em termos de autonomia e outras habilidades não é imediato, mas características como motivação e interesse de realização de uma atividade fora dos modelos tradicionais podem já ser observadas entre os alunos.

Apesar da multiplicidade de sentidos associados ao ensino investigativo, além de falta de consenso quanto às atividades envolvidas, algumas características como elaboração de hipóteses, identificação do conhecimento prévio e reflexão são observadas, conforme Zâmpero e Laburú (2011).

Metodologia

O público alvo dessa investigação foi constituído por alunos de três turmas do 2º ano do Ensino Médio de uma escola pública do interior de São Paulo. Os residentes eram cinco alunos do curso de graduação de uma universidade pública da região, que participavam do programa Residência Pedagógica, o coordenador do programa e a professora preceptora. A escolha do conceito levou em consideração que a professora iria tratar desse tema com seus alunos e considerava importante propor uma estratégia diferente do que ela usualmente propunha, visto que os alunos já haviam estudado tais conteúdos no ano anterior com a própria professora. Todavia, ela havia identificado que os mesmos não tinham conseguido aprender significativamente. De comum acordo, foi desenvolvido o desenho metodológico da investigação e o período em que ela seria efetivada.

O desenho metodológico da investigação é apresentado no quadro 2. Nele, é possível observar que as aulas foram organizadas levando-se em conta os três momentos pedagógicos. Para efeito de organização textual, foi decidido descrever nessa sessão como foram as aulas.

A coleta de dados foi organizada em três etapas, sendo que a primeira delas visava identificar qual o grau de conhecimento dos alunos sobre o tema abordado, e consistia em três questões abertas, que chamamos de instrumento 1:

1. O que é matéria?
2. O que é o átomo?
3. Como um punhado de areia, um cubo de gelo e um refrigerante estão relacionados com matéria e átomos?

Os estudantes responderam a esse questionário antes de começarmos a investigação. A segunda etapa da coleta de dados ocorreu uma semana após a aula final da investigação (Aula 5). Os alunos responderam às mesmas questões do instrumento 1, visando identificar as reformulações elaboradas após o ensino. A 3ª etapa ocorreu no final do semestre, e nela os alunos responderam novamente às três questões, buscando observar se haveria modificações nas respostas após um período de tempo maior. Foram consideradas aqui somente as respostas dos estudantes que participaram de todas as aulas e entregaram os três instrumentos. Dessa forma, nosso público correspondeu a 21 alunos sendo turma A (7 alunos), turma B (6 alunos) e turma C (8 alunos).

Serão apresentadas algumas declarações dos estudantes que consideramos pertinentes para compreender a evolução conceitual das turmas sobre os M.A. ao longo da investigação.

Quadro 2: Organização das aulas em relação aos 3 momentos pedagógicos e os conteúdos.

| Momento pedagógico trabalhado | Nº de aulas | Conteúdos | Estratégia empregada |
|-------------------------------|-------------|---------------------------|---|
| 1º e 2º | 1 | Modelo de Dalton | Problematização |
| | | | Experimentação |
| 2º | 1 | Modelo de Dalton | Discussão |
| 2º | 1 | Modelo de Rutherford | Simulação por computador e discussão |
| 2º | 1 | Modelo de Rutherford-Bohr | Experimentação e discussão |
| 3º | 1 | Todos os modelos | Síntese das idéias e nova problematização |

Fonte: Autores.

Aula 1

Para a problematização inicial, a Aula 1 foi dividida em duas partes. Inicialmente, os residentes apresentaram alguns exemplos de fenômenos físicos e químicos, sem fazer aprofundamentos conceituais. A seguir, com base nas explicitações, foi solicitado aos alunos que refletissem e respondessem ao instrumento 1. A segunda parte ocorreu no laboratório, sendo proposta uma atividade experimental que se tratava da conservação de massas, contendo desprendimento ou aprisionamento de gás em uma garrafa PET, usando uma balança de precisão de até 10 kg da marca Ingá, conforme a figura 1.

Para a realização do experimento, se utilizou bicarbonato de sódio, ácido sulfúrico 1 mol L⁻¹, uma balança caseira e uma garrafa PET com tampa. Adicionou-se 5 g de bicarbonato de sódio dentro da garrafa, a qual estava posta sobre a balança, e perguntou-se aos estudantes o que iria acontecer após se adicionar 20 mL de ácido sulfúrico para reagir com a garrafa aberta. A reação química foi realizada com a garrafa aberta. Em seguida, o mesmo experimento foi realizado com a garrafa fechada. Os alunos então elaboraram hipóteses sobre o que tinha ocorrido no experimento.

Figura 1: Materiais utilizados no experimento de conservação da massa.



Fonte: Autores.

O objetivo foi chamar a atenção dos alunos de que todo material é constituído por átomos, além da relação com o conceito de conservação da massa. Os alunos foram divididos em pequenos grupos para fazer o experimento. Com a garrafa aberta e depois fechada, os alunos verificaram as massas finais diferentes com a mesma quantidade de reagentes. Após o término do desenvolvimento da atividade experimental, os pesquisadores iniciaram um debate com dois questionamentos:

1- O gás possui massa?

2- O que teria acontecido com átomos das substâncias presentes no experimento?

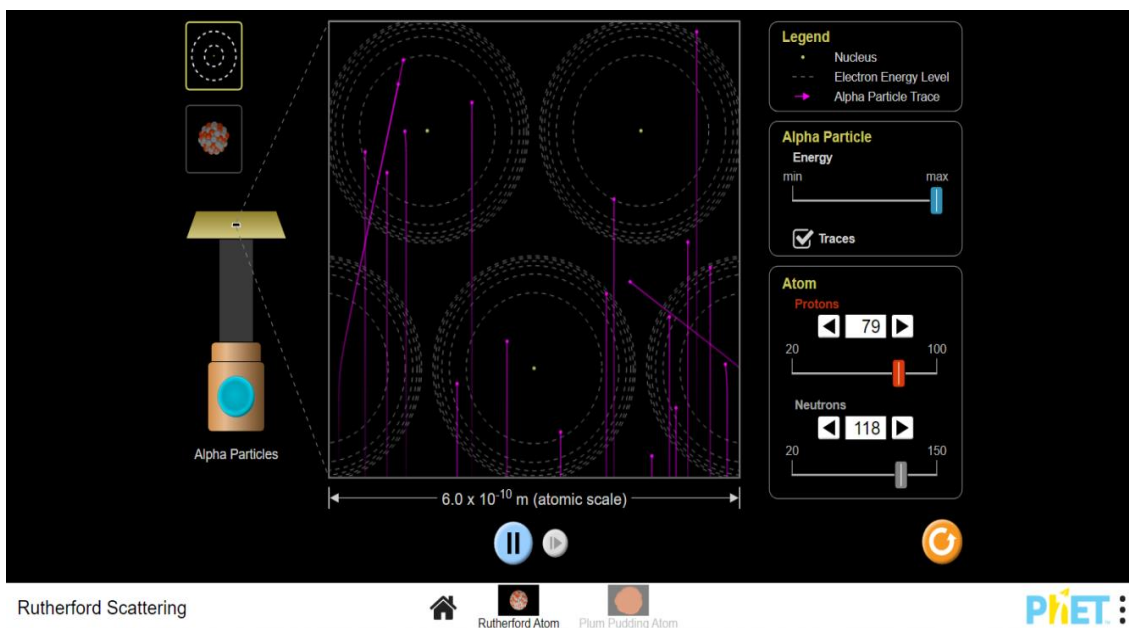
Foi solicitado aos estudantes que registrassem suas dúvidas sobre o assunto para serem pautadas e discutidas na aula subsequente.

Aula 2

Nessa aula, as dúvidas remanescentes da aula anterior foram dirimidas. Os pesquisadores apresentaram as ideias de Dalton e fizeram uma relação desse modelo com as perguntas propostas na aula anterior. Além disso, se estabeleceu uma relação com alguns dos problemas enfrentados pelos cientistas no século XIX, para os quais o M.A. seria um subsídio para o desenvolvimento do conhecimento científico. Nosso objetivo aqui era favorecer que os estudantes percebessem a importância da formulação de modelos científicos para o avanço da Ciência, e que esta é uma ferramenta para que o ser humano possa compreender o mundo físico.

Aula 3

Figura 2: Simulação computacional do experimento de Rutherford.



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering_en.html.

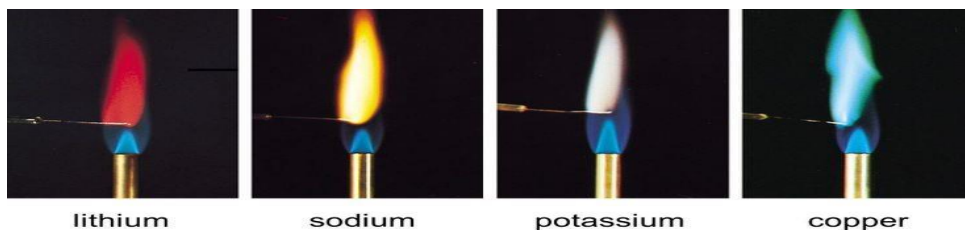
Foi realizada uma atividade na sala de informática com o uso de um software que simulava o experimento realizado por Rutherford em 1909 para investigar a estrutura do átomo, conforme a figura 2. Primeiramente, explicou-se aos alunos o que Rutherford queria observar em seu experimento e, em seguida, os alunos foram questionados sobre o que achavam que iria acontecer na simulação. Os alunos formularam suas hipóteses e seguidamente o experimento foi simulado, permitindo que eles pudessem confrontar a hipótese criada. No fim da atividade, foi discutido com os alunos que, apesar do modelo proposto por Dalton descrever o átomo como uma esfera maciça, os resultados obtidos na simulação computacional mostravam inconsistências como o modelo vigente. Por esse motivo, era necessário propor um novo

modelo que pudesse explicar os novos resultados obtidos, divergentes do que se acreditava até então.

Aula 4

O terceiro e último modelo apresentado foi de Rutherford-Bohr. Para mostrar como o modelo de Rutherford ainda tinha as suas limitações, foi apresentado no laboratório uma atividade experimental com testes de chama, conforme a figura 3, fazendo uma referência com os fogos de artifício e suas cores.

Figura 3: Cores de chama para sais de lítio, sódio, potássio e cobre.



Fonte: <https://dornsife.usc.edu/labs/lecture-support-lab/flame-test>.

Nesse experimento, os alunos puderam observar como cada elemento químico é capaz de emitir luz com uma cor específica quando seus elétrons são excitados pelo calor da chama. Foram utilizados cloreto de estrôncio, sulfato de cobre e cloreto de sódio para realizar o experimento e, posteriormente, para as explicações teóricas na mesma aula. Após a realização do experimento, os alunos foram divididos em três grupos para elaborar hipóteses do que tinham observado, utilizando apenas o modelo de Rutherford. Finalmente, cada grupo teve um voluntário para compartilhar com a turma a hipótese proposta mais aceita pelo grupo. Após a atividade, os pesquisadores explicaram o que ocorreu no experimento e o porquê.

Aula 5

Nessa aula, foi discutido o papel de um modelo científico. Para esse fim, foi feito um questionamento final aos alunos: Por que foram necessários modelos diferentes para explicar a constituição da matéria? Os estudantes formularam hipóteses e, no final, os pesquisadores sistematizaram essas hipóteses e chegou-se ao consenso que os modelos explicativos têm caráter temporário e devem ser reformulados ou substituídos quando perdem o seu poder explicativo.

Resultados e Análise

Aqui fizemos a opção de apresentar os resultados com as suas respectivas análises por M.A. estudado. Consideramos que dessa forma ficaria mais evidente o processo de crescimento conceitual dos estudantes ao longo da investigação. Dividimos a análise em duas partes. Na primeira, apresentamos e discutimos à luz da literatura da área as declarações dos alunos. Na segunda parte, apresentamos os resultados analisados das respostas dos discentes nos instrumentos.

Aulas 1 e 2: O Ensino do modelo atômico de Dalton

Na aula 1 foi proposto um experimento após o qual os alunos responderam a duas questões:

1- O gás possui massa?

2- O que teria acontecido com átomos das substâncias presentes no experimento?

Sintetizando as ideias faladas pelos alunos quando questionados durante o experimento, a maior parte previu que o valor indicado na balança iria diminuir quando a garrafa estivesse aberta. Essa afirmação seria um indicativo de que os estudantes reconheciam que o gás desprendido possuía alguma massa. Outras respostas apontavam que, além de reconhecerem que o gás possuía alguma massa, ele participava de uma transformação química. Esse argumento, sem dúvida, aponta para um nível maior de compreensão e articulação com conteúdos estudados em outros momentos, uma vez que não tratamos do conceito transformações químicas em nossas aulas, mas sabíamos que esse tema fora estudado no ano anterior.

A utilização de conceitos prévios nas afirmações dos alunos não causa espanto algum, já que as autoras Martorano e do Carmo (2013) apontam a importância desses conceitos no aprendizado dos alunos. De acordo com a literatura, cabe ao professor identificar as noções que os alunos trazem de ambientes exteriores à aula e utilizá-los em prol da aprendizagem. Em contraposição às ideias citadas no parágrafo anterior, alguns estudantes, mesmo prevendo que haveria diminuição da massa, não foram capazes de vincular essa ocorrência à presença do gás na reação.

Observamos que houve um forte engajamento dos discentes desde a primeira aula, nesse sentido concordamos com Brito e Fireman (2008) de que o ensino pode ser mais interessante para os alunos se for proposta uma abordagem investigativa. Em especial nos debates onde as hipóteses eram explicitadas por uns e refutadas por outros, em um processo de construção de argumentos que mobilizava muitos conhecimentos recém construídos.

Para a segunda questão, a maior parte das respostas indicava que a diminuição da massa se devia ao fato de que uma parte das substâncias foi consumida na transformação química. Em geral, os alunos que disseram anteriormente que iria ser por causa do gás continuavam achando que iria ocorrer o mesmo, visto que o “gás pesa menos que o líquido”. Esses tipos de respostas corroboram com a pesquisa de Silva, Velasco e Pino (2019), notando que uma certa parte de alunos se atém às características de mudança de estado físico ou de produção de novas substâncias. Os autores indicam que uma pequena parte dos alunos leva em consideração o rearranjo de átomos para se formar uma nova substância, a qual, nesse experimento, seria evidenciada pela formação e liberação de gás.

Essas percepções foram previstas no estudo de Mayer (2011), que as relacionou com o fato de que muitos estudantes não têm uma concepção alinhada aos modelos científicos ou têm dificuldade de compreender e utilizar um modelo de matéria constituído por átomos. De acordo com o autor, os estudantes apresentam concepções alternativas tais como que os gases têm menos massa que os sólidos, que os gases têm massa negativa, ou até que não têm nenhuma massa. Consideramos que muitas das respostas dadas pelos estudantes estão em consonância com os achados na investigação citada nesse parágrafo, ou seja, os alunos não relacionam a massa do gás com o fato de que a substância em questão é constituída por átomos.

Foi necessário que os pesquisadores fizessem algumas interferências para que aqueles estudantes que apresentavam maior dificuldade em relacionar a massa do gás com existência de átomos compreendessem e assim formalizar um M.A. análogo ao proposto por Dalton. Esse passo facilitou que as turmas aplicassem tal modelo para explicitar sua compreensão do que seria a transformação química observada no experimento. Observamos que, além do papel dos pesquisadores nesse processo, as interações dos estudantes entre si foram uma ferramenta poderosa para o fomento de novas hipóteses e a reformulação de ideias com fragilidades conceituais. Nesse sentido, concordamos com Bennett, Hogarth, Lubben, Campell e Robison (2010), que apontam que as discussões entre os alunos suscitam reformulações importantes em suas concepções.

Aula 3 - O Ensino do modelo atômico de Rutherford

Após contextualizar os alunos sobre a necessidade de se revisar o M.A. de Dalton para explicar novos questionamentos sobre a natureza da matéria, começamos um debate com as turmas com as seguintes perguntas:

1- O que Rutherford queria observar em seu experimento?

2- O que vocês acham que vai acontecer nessa simulação?

Sobre a simulação, as respostas dadas quase que por unanimidade defendiam a ideia de que as partículas alfa iriam “bater na folha de ouro e voltar”. Tal fato indicava que os estudantes apoiavam suas respostas nas ideias de Dalton de que o átomo é uma esfera maciça. A simulação apresentou às turmas um novo fenômeno que não poderia ser explicado baseando-se no M.A. de Dalton. Os residentes aproveitaram esse momento para resgatar a contextualização apresentada na fase inicial da aula. Ficou claro para a maioria dos estudantes a necessidade de se revisar o M.A. de Dalton, ou como dito por alguns alunos, fazer um “*upgrade*”. Nossa intenção era que os estudantes compreendessem que a concepção do átomo como sendo uma esfera maciça não seria suficiente para explicar o comportamento das partículas alfa quando atingiam a lâmina de ouro e, por consequência, incorporassem mais características em seus M.A.

Consideramos importante aqui destacar dois aspectos pedagógicos utilizados nessa aula, o primeiro da inserção da História da Ciência. Gatica, Cuéllar e Camacho (2008) argumentam que, quando o professor faz conexões dos conceitos tratados em sala de aula com o contexto histórico em que estes foram desenvolvidos, amplificam-se as possibilidades de aprendizagem do aluno. Tal ação propicia o estabelecimento de relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente (CTSA) e dificulta o desenvolvimento de visões distorcidas da Ciência e da produção do conhecimento científico (Melzer & Aires, 2015). Em nosso caso, tivemos o cuidado de chamar a atenção do aluno para o período de tempo que foi necessário e para a ocorrência de outras investigações para que as ideias de Rutherford ampliassem o conhecimento humano sobre o átomo.

Outro aspecto que merece destaque nessa aula é o da utilização de *softwares* de simulação. Nessa linha, Eichler e Pino (2000) argumentam que são um bom auxílio para o professor em sala de aula, pois permitem que o aluno tenha uma interatividade com o *software* e possa observar instantaneamente os fenômenos causados pela sua manipulação, o que pode despertar um maior interesse de aprender. Além disso, as simulações tornam possível que o aprendiz verifique situações que dificilmente seriam reproduzidas com um experimento real, tal como o experimento de Rutherford. Outro efeito interessante da utilização de simulações computacionais que cabe ressaltar é a familiarização do aluno com a ilustração do mundo submicroscópico. Conforme Johnstone (1993), a química apresenta três diferentes níveis de abstração, sendo o submicroscópico, macroscópico e representacional. Os dois últimos podem ser mais facilmente trabalhados em aulas tradicionais ou experimentais. No entanto, o primeiro pode ser muito difícil de ser abstraído, o que pode ser minimizado com o uso de *softwares* de simulação.

De modo geral, esperava-se que as turmas já saberiam que as cargas opostas se atraíam e que as iguais se repelíssem, pois já haviam estudado isso no 1º ano do Ensino Médio. A partir disso, nossa expectativa era de que, com a simulação os alunos pudessem fazer algumas descobertas, como por exemplo que as partículas alfa possuíam carga positiva e que o núcleo do átomo deveria ser positivo. De fato, nossa expectativa foi concretizada, porque muitas declarações dos estudantes apontavam para essas correlações, sendo a principal fala deles relacionada à memorização de “os opostos se atraem, os iguais se repelem”, ficando claro que eles o haviam decorado. Após essas hipóteses, decidimos resgatar com as turmas os conceitos de prótons,

elétrons e nêutrons. Dessa forma, os M.A. dos discentes foram sendo enriquecidos à medida que não eram mais capazes de atender às novas exigências explicativas. Temíamos que alguns alunos não conseguissem reformular seus M.A. devido a um bloqueio epistemológico, por isso, tomamos o cuidado de deixar que eles mesmo percebessem que o modelo de Dalton não seria capaz de explicar os fenômenos observados na simulação e percebessem que havia, nesse modelo anterior, limitações que precisavam ser contornadas.

Aula 4 - O Ensino do modelo atômico de Rutherford-Bohr

Nessa aula, foi proposto para os alunos divididos em grupos o experimento do teste de chama. Os resultados desse experimento foram muito interessantes, já que, ao serem inqueridos sobre como explicar o fenômeno, os próprios perceberam que o M.A. da aula anterior não teria essa capacidade explicativa, necessitando de reformulações. Apesar do esforço dos estudantes, nenhum grupo conseguiu formular uma explicação satisfatória. Aproveitamos esse momento de frustração para mais uma vez contextualizar quais eram alguns dos problemas que os cientistas estavam enfrentando naquela época.

Como esperado por nós, nenhum dos alunos conseguiu formular alguma inovação no M.A. de Rutherford para explicar a emissão de luz observada no teste de chama. Sendo necessário nossa intervenção para organizar as hipóteses e apresentar as ideias de Böhr. Ainda assim, muitas das explicações, apesar de incorporar as noções recém apresentadas, careciam de maior atenção de nossa parte:

Quadro 3: Falas dos alunos visando explicar o fenômeno observado.

| Atribuição do fenômeno | Fala |
|------------------------------|--|
| Atribui à distância | “O elétron foi transferido para um átomo vizinho e a distância determinava a cor da chama” |
| Atribui ao calor | “O calor faz o próton alternar os núcleos” |
| Atribui ao elétron | “O próton não se mexe, é o elétron que pula” |
| Atribui à uma reação química | “Ocorre uma reação química ao entrar em contato com a chama” |

Fonte: Autores.

Consideramos que esse comportamento seria um sinal de que a estratégia estava surtindo efeito, porque essas contribuições se baseavam no conhecimento científico construído pelas turmas e que os alunos estavam assumindo uma postura mais engajada em sua aprendizagem, apesar de nem todos estarem atribuindo o fenômeno aos elétrons. Recorremos mais uma vez a Bennett et al. (2010), que indicam serem vantajosas as discussões em grupo, pois auxiliam na criação de hipóteses e no emprego da linguagem científica dos estudantes, que em nossa avaliação precisava de mais tempo para ser desenvolvida.

Após muito debate, houve a convergência por parte da maioria dos estudantes da hipótese de que ocorria uma reação química ao colocar o sal sobre a chama, sendo essa evidenciada pela emissão de luz colorida, ou seja, o fenômeno não estava sendo atribuído à mudança de órbita dos elétrons.

Nesse momento, decidimos organizar as ideias explicitadas e fazer mais alguns aprofundamentos teóricos, especialmente enfatizando a existência de diferentes níveis eletrônicos. Após essa sistematização, a maioria dos alunos conseguiu relacionar o salto dos elétrons com o fenômeno observado. Comentamos que mesmo esse M.A. também apresentava suas limitações e que posteriormente sofreria alterações.

Aula 5 - Identificando como os estudantes empregavam os modelos atômicos

Discutiremos agora os dados obtidos com os instrumentos. Para essa finalidade, propusemos categorias para cada questão. Essas categorias se baseiam nos níveis representacionais de Johnstone (1993) que foram utilizados pelos alunos em suas respostas, ou seja, o nível macroscópico, submicroscópico e representacional.

Quadro 4: Categorias analíticas utilizadas na análise das respostas dos alunos da questão 1 - “O que é matéria?”

| Atribuição do fenômeno | Caracterização | Exemplo |
|--|--|---|
| Sem fundamentação | Respostas que não se baseavam nos conteúdos químicos tratados em sala de aula. | “É aquilo que estudamos na escola e muda todo ano”. |
| Relaciona com as propriedades da matéria | Justificativas se baseiam em uma ou mais propriedades do material (nível macroscópico) sem fazer menção a um dado modelo atômico. | “É tudo que constitui massa.” |
| Relaciona com os átomos | Justificativas nas quais o estudante explicita a existência de entes presentes no universo particulado da matéria (nível submicroscópico). | “É um conjunto de átomos unidos por ligações químicas”. |

Fonte: Autores.

Tabela 1: Dados sobre a questão 1 - “O que é matéria?”

| Categoria da resposta | I1 | I2 | I3 |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|
| Sem fundamentação | 9,5% | 0% | 0% |
| Relaciona com propriedades da matéria | 81,0% | 76,2% | 81,0% |
| Relaciona com os átomos | 9,5% | 23,8% | 19,0% |

Fonte: Autores.

Em I1 podemos observar que 9,5% dos estudantes não conseguiam justificar as suas respostas e que nos instrumentos posteriores não foram identificadas respostas dessa natureza. Podemos inferir que para esse grupo de alunos a estratégia de ensino foi efetiva. A maior parte das declarações dos estudantes justificava suas respostas com base no aspecto macroscópico da matéria, apesar de a estratégia enfatizar o nível submicroscópico. Nesse quesito, os dados apontam que não houve evolução conceitual para esse grupo de alunos. Sobre esse respeito, ponderamos que encontramos aqui mais um exemplo que corrobora as argumentações de Pozo e Crespo (2009) de que o estudante se baseia no concreto para formular suas explicações acerca do mundo material e não em modelos científicos, sendo raro, por exemplo, reconhecerem a ideia da descontinuidade da matéria.

Em nosso entender, mais dois fatores podem justificar porque entre esse grupo observou-se uma discreta evolução conceitual, o primeiro fator diz respeito ao fato de que o comportamento da matéria em nível microscópico não é intuitivo para a maioria das pessoas. É difícil imaginar que alguém naturalmente consiga compreender que a matéria é descontínua e de que existem espaços vazios entre as partículas, como apontam estudos que se debruçaram a clarificar como um indivíduo compreende a matéria (Adadan 2012; Benarroch & Marín, 1998; Talanquer, 2009). O segundo fator tem a ver com os muitos significados que o termo matéria pode ter para os estudantes. Martorano e Carmo (2013) discorrem que antes de ser expresso em palavras, o pensamento tende a relacionar as ideias entre si, estabelecendo conexões com os conceitos que fazem parte do repertório conhecido. Nesse processo, as pesquisadoras

alertam que ao lidar com essa variedade de significados, o estudante poderá ter sérios problemas com a aprendizagem.

Observamos que, com o passar do tempo, aumentou o número de estudantes que justificavam as suas respostas com base no nível submicroscópico. Ao compararmos esses valores em I1 e I3 podemos considerar que, após um semestre, mais alunos conseguiam se apoiar nesse nível representacional da química em comparação com a fase inicial de implementação da estratégia. Tal fato implica que esses estudantes se apropriaram, em alguma medida, de ideias mais elaboradas sobre a estrutura da matéria, o que consideramos ser de fundamental importância para que os indivíduos compreendam as propriedades dos materiais e interpretem muitos fenômenos que ocorrem no mundo em que vivem (Martorano & Carmo, 2013).

Em suma, observou-se que as declarações dos alunos indicaram que a maioria do grupo não é capaz de formular as suas respostas sobre a estrutura da matéria sem recorrer ao universo concreto. Nesse sentido, pensamos que seria necessário que a professora propusesse atividades nas quais os estudantes pudessem ir paulatinamente apropriando-se das características do universo particulado e a partir daí, irem fazendo conexões com os fenômenos físicos, como recomendam França, Marcondes e Carmo (2009).

Quadro 5: Categorias analíticas utilizadas na análise das respostas dos alunos da questão 2 - “O que é o átomo”?

| Fundamento da resposta | Caracterização | Exemplo |
|------------------------|---|---|
| Sem fundamentação | Respostas que não se baseavam nos conteúdos químicos tratados em sala de aula. | “Átomo é princípio de tudo, sem ele não existe matéria”. |
| Pré-daltoniano | Respostas nas quais não se veem evidências do uso de qualquer modelo atômico, mas o aluno faz referência às propriedades de um átomo. | “É a menor parte da matéria”. |
| Daltoniano | Respostas nas quais o aluno faz referência ao M.A. Proposto por Dalton. | “É a menor parte da matéria, indivisível, indestrutível, circular e maciço”. |
| Rutherford-bohriano | Respostas nas quais o aluno faz referência às ideias de Rutherford-Bohr. | “Uma unidade da matéria ligada por prótons, nêutrons e elétrons, que orbitam na eletrosfera”. |

Fonte: Autores.

Interessante notar que nenhuma resposta obtida se limitou apenas ao modelo de Rutherford. Por isso, não foi criada uma categoria baseada nesse modelo.

Tabela 2: Dados sobre a questão 2 - “O que é átomo?”

| Categoria da resposta | I1 | I2 | I3 |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| Sem fundamentação | 28,6% | 0,0% | 0,0% |
| Pré-daltoniano | 28,6% | 14,3% | 9,5% |
| Daltoniano | 33,3% | 71,4% | 81,0% |
| Rutherford-Bohriano | 0,0% | 14,3% | 9,5% |

Fonte: Autores.

Observou-se que, no questionário prévio da questão 2 “O que é átomo?”, um maior número de alunos apresentou nenhum nível fundamentação quanto a ideia de átomo e também nenhum fundamento Rutherford-bohriano. Tal disparidade pode estar associada à abstração necessária para compreender a ideia do átomo e de modelos atômicos, tal como citada anteriormente por Mayer (2011). No questionário aplicado após a realização da atividade (I2), notou-se um significativo aumento na utilização do modelo de Dalton para explicar o que é átomo, além da presença de respostas com fundamentos Rutherford-bohrianos e a ausência de respostas sem fundamentação.

No questionário I3, notou-se um aumento de fundamentos daltonianos e diminuição de Rutherford-bohriano e também pré-daltoniano. Essa maioria de respostas cujas concepções envolvem o modelo de Dalton também foi observada no estudo de Melo e Neto (2013), não importando se os alunos tiveram contato com outros M.A. ou não.

Tendo em mente o fato de que o questionário I3 foi aplicado 6 meses após as atividades envolvendo modelos atômicos, uma questão a ser levantada para tentar explicar essa maioria de respostas daltonianas é a de como o conceito de átomo foi trabalhado durante esse período, já que os alunos participantes seguiram adiante com o conteúdo de química. Nesse sentido, observamos que a preceptora utilizava os cadernos do currículo de Química do estado de São Paulo que, para o 2º ano do EM, utiliza M.A. mais sofisticados. Notamos que o uso de livros didáticos era comum nesse ambiente escolar, podendo ser um fator influenciador na atribuição da característica de “esfera maciça” ou “bolinha” ao átomo, conforme observado por Melo e Neto (2013). Ao contrário de quando o professor se utiliza de representações para o átomo, momento em que podem ser feitos esclarecimentos sobre as limitações da representação, o livro didático é interpretado diretamente pelo aluno.

Nessa perspectiva, Leite, Silveira e Dias (2006) apresentam um estudo que avalia os obstáculos epistemológicos que livros didáticos podem introduzir para os alunos de um olhar bachelardiano. Os autores identificaram que a má formulação de figuras para representar os átomos pode levar os discentes a apresentar concepções errôneas de suas propriedades. Assim como, no artigo citado, a presença de figuras com dimensões absurdas pode levar o aluno a entender de maneira errada que o átomo é macroscópico, representações comuns como bolinhas e esferas podem concretizar o M.A. de Dalton na mente do aluno, sendo uma possível justificativa das respostas à questão 2 após 6 meses de aprendizado em química.

Para a análise da questão 3, que pedia para o aluno explicar como um punhado de areia, um cubo de gelo e um refrigerante estão relacionados com a matéria e átomos, foram decididos 3 pontos que se desejaria que o aluno relacionasse, os quais estão dispostos no quadro 6:

Quadro 6: Categorias analíticas utilizadas na análise das respostas dos alunos da questão 2 - “O que é o átomo”?

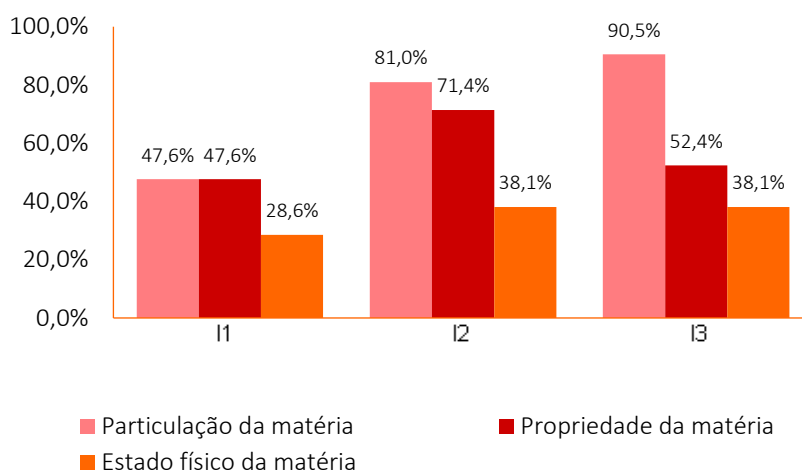
| Ponto | Caracterização |
|--------------------------|---|
| Composição da matéria | O aluno cita que todas as figuras representam materiais e que eles são feitos por átomos. |
| Propriedades da matéria | O aluno ressalta as características da matéria tal como ocupar espaço e ter massa. |
| Estado físico da matéria | O aluno relaciona que a matéria pode estar em formar diferentes (sólido, líquido e gasoso). |

Fonte: Autores.

Essa questão necessita uma análise conjunta com as questões anteriores. Por exemplo, se o aluno alegou que todas são matéria, porém não havia na questão 1 e 2 que a matéria é particulada, foi considerado que ele não compreendia o conceito de composição da matéria, tal

como suas propriedades. Na figura 4, se encontra o gráfico com a porcentagem obtida de categoria de respostas ao longo dos três instrumentos aplicados. Ressalta-se que um mesmo aluno pode ter tido um ou mais pontos contemplados em sua resposta.

Figura 4: Dados sobre a questão 3 - “Como um punhado de areia, um cubo de gelo e um refrigerante estão relacionados com matéria e átomos?” separado por ponto analisado.



Fonte: Autores.

A questão 3 apresentou o maior número de alunos com nível de compreensão conceitual no questionário prévio. Dessa vez, os alunos deveriam relacionar os conceitos mais abstratos (átomo e matéria) com outros mais concretos. Após a aplicação das atividades, observou-se novamente um maior número de alunos com nível de compreensão conceitual tanto no questionário posterior quanto o final, sendo que foi a questão com maior quantidade de alunos que apresentaram nível de compreensão elevada se comparada com as questões anteriores. São exemplos de respostas dadas pelos estudantes enquadradas nesta categoria “todas são matérias e possuem átomos” e “os átomos formam a matéria”.

É possível notar que as respostas que mencionaram a composição da matéria, ou seja, que incluíram o conceito de átomos como constituintes dos materiais citados em suas explicações, aumentaram tanto após o término das atividades quanto no questionário realizado meses depois. Um incremento similar pode ser observado nas respostas que relacionam os materiais expostos na pergunta com propriedades da matéria, como ter massa e ocupar volume. Esses resultados podem ser um indicador positivo de que a maioria dos alunos melhoraram seus entendimentos dos diferentes níveis de abstração de Johnstone (1993), sendo capazes de estabelecer relações entre o nível submicroscópico e os materiais macroscópicos.

Notamos que, desde a Aula 1, na qual tratamos da conservação da massa, alguns alunos utilizavam-se de conceitos de estado físico em seus argumentos, o que foi observado no instrumento 1 e teve um pequeno aumento para os últimos dois questionários, podendo ser atribuído às discussões que propusemos entre os próprios discentes, já que esses conceitos não foram explicitamente trabalhados nas nossas intervenções sobre os modelos atômicos.

Por meio dos questionários, pode-se averiguar indícios de aprendizagem significativa, pois as atividades desenvolvidas apresentaram meios para que conceitos e ideias sobre modelos atômicos fossem aprendidos pela estrutura cognitiva dos alunos. Conforme diz Ausubel (2000), um dos elementos mais importantes para que se estabeleça uma aprendizagem significativa são os subsunçores, ou seja, conhecimentos prévios dos alunos, pois são eles que constituem a estrutura cognitiva a ser alterada. O questionário I1 constitui um elemento importante nessa

análise, pois ele permitiu compreender como esses subsunçores estão organizados, enquanto que o final permitiu perceber se houve uma mudança na compreensão desses conceitos, como foi observado no aumento de resposta de níveis conceituais. Como dito previamente, esses discentes já tinham tido contato com o conceito de modelos atômicos. Do questionário prévio, tivemos que metade dos participantes utilizaram esse conceito para responder ao que foi pedido, enquanto que 6 meses após as atividades esse número aumentou para 90%. Segundo Ausubel (2000), o conhecimento obtido de maneira significativa é retido por mais tempo, não sendo necessário decorá-lo.

Cada etapa da estratégia de ensino teve como intuito gerar discordância e conflito com os modelos já apresentados e, conseqüentemente, na estrutura cognitiva. Mediante o desenvolvimento das atividades, essa estrutura reequilibra-se, pois durante as atividades que abordam modelos atômicos prévios os alunos são confrontados com suas limitações e buscam novas explicações para fenômenos que o modelo fornecido não possui. Dessa forma, o estudante participou da construção de seu saber como um sujeito ativo, sendo possível então apresentar os modelos de Rutherford e Rutherford-Bohr como mutáveis, compreendendo melhor esse aspecto da natureza da ciência. De acordo com Melo e Neto (2013), alguns alunos não têm a concepção de que os modelos atômicos são construções científicas, obstáculo que visamos superar durante nossas intervenções.

Na tabela 3, há uma análise considerando quantos dos pontos categorizados no quadro 6 os alunos contemplaram em suas respostas.

Tabela 3: Dados sobre a questão 3 - “Como um punhado de areia, um cubo de gelo e um refrigerante estão relacionados com matéria e átomos?” separado por frequência de pontos contemplados.

| Número de pontos | I1 | I2 | I3 |
|------------------|-------|-------|-------|
| 0 | 19,0% | 4,8% | 9,5% |
| 1 | 47,6% | 28,6% | 23,8% |
| 2 | 23,8% | 38,1% | 42,9% |
| 3 | 9,5% | 28,6% | 23,8% |

Fonte: Autores.

A tabela 3 nos permitiu avaliar o quão completas foram as respostas dos alunos ao longo do estudo. Como dito anteriormente, algumas dessas respostas apresentaram mais de um ponto envolvendo composição, propriedades da matéria e estados físicos. Notamos que, de início, uma parcela considerável não conseguiu fundamentar sua resposta. Daqueles que utilizaram alguns dos conceitos citados, a maior parte se limitou a apenas um. Apenas 9,5% incluíram todos os três pontos determinados.

O instrumento 2 mostrou um aumento na qualidade geral das respostas, aumentando o número de alunos que utilizaram dois ou três pontos. Esse fator já era esperado, visto que a avaliação foi realizada uma semana após as atividades, estando as discussões e os modelos atômicos recentes na memória dos discentes. O instrumento que realmente permitiu avaliar a efetividade da nossa proposta de ensino foi o terceiro. Comparando com o primeiro questionário, o incremento de respostas mais completas se sustentou, já que o número de respostas com nenhum ou apenas um ponto caiu pela metade e aquelas com dois ou três pontos contemplados aproximadamente dobrou.

Esses dados nos permitem afirmar que houve aprendizagem significativa da perspectiva de Ausubel (2000), e que as relações que os alunos foram capazes de estabelecer entre os diferentes níveis de abstração de Johnstone (1993) também se mantiveram.

Com isso, acreditamos que as metodologias diversificadas utilizadas puderam melhorar a compreensão dos alunos sobre os modelos atômicos e como os átomos e a matéria podem ser relacionados com o mundo macroscópico. No entanto, também foram encontradas algumas dificuldades que um professor, ao aplicar esse tipo de abordagem, teria de enfrentar. Por termos utilizado cinco aulas diferentes, a frequência dos alunos foi fundamental, já que fizemos referência aos modelos discutidos em aulas anteriores a todo momento, justamente para enfatizar a mutabilidade da ciência e incentivar a elaboração de hipóteses.

Além disso, ao se voltar à experimentação, o professor pode ter de abrir mão do caráter investigativo e adotar uma metodologia demonstrativa por conta de disponibilidade de laboratórios, reagentes e também por segurança. Já a utilização de *softwares* de simulação, conforme colocado por Eichler e Pino (2000), requer uma formação de professores que seja capaz de suprir essa necessidade, podendo aproveitar-se da tecnologia como recurso didático. Outro ponto a ser levantado é a informatização das escolas, já que nem todas dispõem de um computador, projetor e internet. A simulação que utilizamos também pôde ser reproduzida em *smartphones* com internet, o que facilita a manipulação dos alunos quando buscamos que sejam sujeitos de seus próprios aprendizados.

Considerações Finais

A estratégia para o ensino de modelos atômicos baseada nos três momentos pedagógicos se demonstrou uma interessante ferramenta para analisar aspectos da química e ciência que transcendem o livro didático e a aula tradicional, pois permitem ao professor desenvolver junto aos alunos o raciocínio necessário para compreender tais modelos. Com isso, demonstrando a natureza flexível da ciência que está em constante mudança, desmistificando-a e permitindo a quebra de obstáculos epistemológicos que podem atrapalhar na criação de um espírito científico nos alunos, não limitando os conceitos a metáforas textuais e figuras representativas.

Um relevante aspecto da estratégia de ensino desenvolvida foi a de apresentar os conteúdos de forma significativa, de modo que o conhecimento adquirido não fosse simplesmente decorado e facilmente esquecido, o que foi evidenciado nas respostas dadas ao questionário final aplicado 6 meses após a atividade, no qual o número de alunos com nível conceitual dos conteúdos abordados foi maior do que inicialmente observado.

A atividade desenvolvida apresentou algumas limitações, pois ela depende de uma sequência de atividades divididas em três etapas, sendo que cada etapa abordou um modelo atômico e posterior discussão e, devido ao tempo considerável necessário para executá-las, a ausência de muitos alunos em alguma etapa foi ocorrência comum, o que compromete a continuidade do processo para aqueles que faltaram, pois perdem-se as discussões acerca das limitações de algum modelo e que são importantes para a introdução de outro. Lidar com essa dificuldade não é simples, uma vez que não é possível para o professor controlar esse fator. Uma possibilidade é de fazer um breve resgate das discussões, pontuando as ideias mais importantes debatidas na aula anterior e minimizando o prejuízo daqueles estudantes que faltaram.

Além da presença constante dos alunos, essa estratégia de ensino também requereu a utilização de um laboratório didático, um computador com projetor e alguns reagentes, o que pode trazer limitações dependendo da formação do docente e do ambiente em que se deseja ensinar os modelos atômicos com essa abordagem histórica e investigativa. Pensamos que tais dificuldades podem ser contornadas se o professor trabalhasse com atividades experimentais por demonstração e utilizando aplicativos educacionais disponíveis para smartphones. Para isso, seria necessário que o docente fizesse uma pesquisa sobre tais aplicativos.

Finalizamos argumentando que a estratégia aqui apresentada poderia ser utilizada em conjunto com outras abordagens, como por exemplo o ensino CTSA, e que ainda a estratégia favorece ao

professor explorar a argumentação dos alunos, permitindo o desenvolvimento dessa competência.

Referências

- Adadan, Emine. (2013). Using multiple representations to promote grade 11 students' scientific understanding of the particle theory of matter. *Research in Science Education*, 43(3), 1079-1105.
- Ausubel, David. P. (2012). *The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view*. Springer Science & Business Media.
- Benarroch, Alicia B., & Marín, Nicolás. (1998). Dependencia de las explicaciones de los alumnos de esquemas de conocimiento específicos y generales. In: *Investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias* (pp. 67-75). Diego Marín DM.
- Bennett, Judith, Hogarth, Sylvia, Lubben, Fred, Campbell, Bob, & Robinson, Alison. (2010). Talking science: The research evidence on the use of small group discussions in science teaching. *International Journal of Science Education*, 32(1), 69-95.
- Brito, Brenda W. D. C. S., Brito, Leandro T. S., & Sales, Eliemerson D. S. (2018). Ensino por investigação: uma abordagem didática no ensino de ciências e biologia. *Revista Vivências Em Ensino de Ciências*, 2(1), 54-60.
- Brito, Liliane O., & Fireman, Elton C. (2018). Ensino de ciências por investigação: uma proposta didática "para além" de conteúdos conceituais. *Experiências em Ensino de Ciências*, 13(5), 462-479.
- Deleizoicov, Demétrio; Angotti, José. A., Pernambuco, Marta, M. (2002). *Ensino de ciências: fundamentos e métodos*. São Paulo: Cortez.
- Eichler, Marcelo & Pino, José. C. D. (2000). Computadores em educação química: estrutura atômica e tabela periódica. *Química Nova*, 23(6), 835-840.
- Ferreira, Luiz H., Hartwig, Dácio R., & Oliveira, Ricardo D. (2010). Ensino experimental de química: uma abordagem investigativa contextualizada. *Química Nova na Escola*, 32(2), 101-106.
- França, Angella D. C. G., Marcondes, Maria E. R., & Carmo, Miriam P. (2009). Estrutura atômica e formação dos íons: uma análise das ideias dos alunos do 3º ano do ensino médio. *Química Nova na Escola*, 31(4), 275-282.
- Gatica, Mario Q., Cuéllar, Luigi, & Camacho, Johanna. (2008). La Historia del átomo en los libros de texto: didáctica de una propuesta de innovación construida desde una visión naturalizada de la ciencia. *Actes d'història de la ciència i de la tècnica*, 97-107.
- Johnstone, Alex H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701.
- Krulik, Stephen, & Reys, Robert E. (1980). *Problem Solving in School Mathematics*. National Council of Teachers of Mathematics 1980 Yearbook. Virginia: Reston.
- Leite, Vanessa M., Silveira, Hélder E. D., & Dias, Silvano S. (2006). Obstáculos epistemológicos em livros didáticos: um estudo das imagens de átomos. *Candombá-Revista Virtual*, 2(2), 72-79.

- Martorano, Simone A. A., & Carmo, Miriam P. Investigando as ideias dos Alunos do Ensino Médio sobre a Matéria. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, 34(2), 237-244.
- Mayer, Kristin. (2011). Addressing students' misconceptions about gases, mass, and composition. *Journal of Chemical Education*, 88(1), 111-115.
- Melo, Marlene R., & Neto, Edmilson D. L. (2013). Dificuldades de ensino e aprendizagem dos modelos atômicos em química. *Química Nova na Escola*, 35(2), 112-122.
- Melzer, Ehrick E. M., Castro, Leandro D., Aires, Joanez A., & Guimarães, Orlney M. (2009). *Modelos atômicos nos livros didáticos de química: obstáculos à aprendizagem*. In: ENPEC– Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 7, Florianópolis, 2009.
- Melzer, Ehrick E. M., & Aires, Joanez. A. (2015). A história do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, 11(22), 62-77.
- Muenchen, Cristiane, & Delizoicov, Demétrio. (2014). Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro "Física". *Ciência & Educação (Bauru)*, 20, 617-638.
- Pozo, Juan I., & Crespo, Miguel Á. G. (2009). *A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*. Porto Alegre: Artmed, 5, 5.
- Scarpa, Daniella L., Sasseron, Lúcia H., & Silva, Maíra D. (2017). O ensino por investigação e a argumentação em aulas de ciências naturais. *Tópicos Educacionais*, 23(1), 7-27.
- Silva, Daniela R., Velasco, Bárbara G. F., & Pino, José. C. D. (2019). O estudo da descontinuidade da matéria e da conservação das propriedades não observáveis: caminhos traçados por estudantes ingressantes do ensino médio. *Experiências em Ensino de Ciências*, 14(2), 71-87.
- Silva, Pedro. H. L. (2016). *Recursos midiáticos para o ensino de modelos atômicos: uma análise crítica*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- Talanquer, Vicente. (2009). On cognitive constraints and learning progressions: The case of "structure of matter". *International Journal of Science Education*, 31(15), 2123-2136.
- Wartha, Edson J., & Lemos, Marcos M. (2016). Abordagens investigativas no ensino de Química: limites e possibilidades. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, 12(24), 5-13.
- Zômpero, Andreia F., & Laburú, Carlos E. (2011). Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 13(3), 67-80.